


Method for determining the peeling energy of sandwiched layers in a T geometry.

Patent Number: EP0388247
Publication date: 1990-09-19
Inventor(s): DESCAVES FREDERIC (FR); MANTEL MARC
Applicant(s): UGINE ACIERS (FR)
Requested Patent: ☐ EP0388247, B1
Application: EP19900400413 19900214
Priority Number(s): FR19890003471 19890316
IPC Classification: G01N19/04
EC Classification: G01N19/04
Equivalents: DE69000271D, DE69000271T, ☐ FR2644586
Cited Documents: FR1115835; SU989399

Abstract

This method for determining the peeling energy of sandwiched sheet metal in a T geometry, having two outer leaves (2,3) of material, is characterised in that it consists in introducing this sheet metal into a traction machine (4,5) for peeling the leaves, in imposing a speed (V) of relative displacement determined at the ends of the leaves, in measuring a peeling force (F) necessary for obtaining this speed, when the force is stabilised, in measuring the maximum curvature (theta max) of the bend (6) at the level of the deformation of a leaf and in calculating the peeling energy (G) on the basis of these measurements while considering

that the folding and unfolding energies of the leaves are equal. 

Data supplied from the esp@cenet database - I2



P41719 DE

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Übersetzung der
europäischen Patentschrift

⑤1 Int. Cl. 5:
G 01 N 19/04

⑧7 EP 0 388 247 B1

⑩ DE 690 00 271 T 2

②1 Deutsches Aktenzeichen:	690 00 271.8
⑧6 Europäisches Aktenzeichen:	90 400 413.2
⑧6 Europäischer Anmeldetag:	14. 2. 90
⑧7 Erstveröffentlichung durch das EPA:	19. 9. 90
⑧7 Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	26. 8. 92
④7 Veröffentlichungstag im Patentblatt:	15. 4. 93

DE 690 00 271 T 2

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
16.03.89 FR 8903471

⑦3 Patentinhaber:
Ugine S.A., Puteaux, FR

⑦4 Vertreter:
Wilhelms, R., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Kilian, H.,
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Pohlmann, E., Dipl.-Phys.,
Pat.-Anwälte, 8000 München

⑧4 Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IT, LI, LU, NL,
SE

⑦2 Erfinder:
Mantel, Marc; Descaves, Frederic, F-73200
Albertville, FR

⑤4 Verfahren zur Bestimmung der Abziehenergie von einem Sandwichblech in einer T-Anordnung.

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 690 00 271 T 2

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Abziehenergie im T eines mehrlagigen bzw. Sandwich-Blechtes.

Im Stand der Technik und insbesondere durch das Dokument "Peel Strength and Energy Dissipation" von T. IGARASHI, veröffentlicht in "Adhesive Joints", Seite 419, K.L. MITTAL PLENUM PRESS 1984, ist bereits eine Analyse der verschiedenen Energien, die beim Abziehen bzw. Schälen eines solchen Bleches ins Spiel kommen, bekannt. Aus FR-A-1 115 835 ist ein Verfahren zur Messung der Abreißfläche von zwei Gewebeschichten, denen eine bestimmte Trenngeschwindigkeit auferlegt ist, bekannt.

Bei dieser Analyse berücksichtigt man, daß die Außenlagen des Sandwich-Blechtes nach dem Abziehen eine bleibende Verformung zurückbehalten. Diese bleibende Verformung wirft eine Reihe von Problemen bei der präzisen Bestimmung der Abziehenergie auf, insbesondere, wenn man ein industrielles Verfahren zur Bestimmung dieser Energie im Hinblick auf einen Vergleich von Eigenschaften verschiedener Sandwich-Bleche durchführen will.

Die Anmelderin hat nun festgestellt, daß unter bestimmten Arbeitsbedingungen die Außenlagen des Sandwich-Blechtes nach dem Abziehen keine bleibende Verformung zurückbehalten, so daß es möglich ist, die Durchführung eines industriellen Verfahrens zur Bestimmung dieser Energie zu erleichtern.

Aufgabe der Erfindung ist also die Lösung der oben angesprochenen Probleme, indem ein Verfahren zur Bestimmung der Abziehenergie beim Abziehen im T eines Sandwich-Blechtes vorgeschlagen wird, welches einfach und zuverlässig ist und es gestattet, diese Abziehenergie mit sehr guter Genauigkeit zu bestimmen.

Gegenstand der Erfindung ist hierzu ein Verfahren zur Bestimmung der Abziehenergie (G) beim Abziehen im T eines Sandwich-Blechtes, welches zwei äußere Materialblätter aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß es folgende Verfahrensschritte umfaßt:

a) das Blech wird in eine Zugmaschine zum Abziehen der beiden äußeren Materialblätter voneinander eingeführt,

b) den beiden Enden der Blätter wird eine bestimmte Relativversetzungsgeschwindigkeit (v) aufgezwungen,

c) die Abziehkraft (F), die für eine Erzielung dieser Versetzungsgeschwindigkeit erforderlich ist, wird gemessen, wenn sich diese Kraft stabilisiert hat,

d) die Maximalkrümmung (θ_{\max}) der Biegung wird an der Verformung eines der Außenblätter gemessen,

e) ein Biegemoment $M(\theta_{\max})$ wird anhand folgender Formel berechnet:

$$M(\theta_{\max}) = 2 \cdot l \left[\left(\frac{E_{0,2} \cdot \epsilon_e^2}{3} - \frac{K(\epsilon_e)^{2+n}}{2+n} \right) \cdot \frac{1}{\theta_{\max}^2} + \frac{K}{2+n} \left(\frac{H}{2} \right)^{2+n} \cdot \theta_{\max}^n \right]$$

wobei

- l die Breite des Blattes,
- $E_{0,2}$ die herkömmliche Elastizitätsgrenze bei 0,2% Streckung des betrachteten Materials,
- ϵ_e die elastische Verformung des Materials (0,2%),
- K und n Konstanten des für das verwendete Materialblatt charakteristischen Plastizitätsverlaufs,

- θ_{\max} die gemessene Maximalkrümmung, und
- H die Dicke des verwendeten Materialblattes ist,

f) ein Zwischenkrümmungswert θ' wird anhand der Formel

$$\theta' = \frac{6M(\theta_{\max})}{E_{0,2} H^2} \theta_e$$

berechnet, wobei θ_e die elastische Krümmung des verwendeten Materialblattes darstellt und durch folgende Formel gegeben ist

$$\theta_e = \frac{\epsilon_e}{H/2}$$

und

g) die Abziehenergie G wird unter Berücksichtigung, daß die Biege- und Entbiegeenergien des Blattes gleich sind, nach folgender Formel berechnet:

$$G = 2 \left[\frac{F}{1} - \left(-\frac{1}{6} \frac{E_0 \cdot 2}{\theta_e} H^2 \cdot (\theta'^2 - \theta_e^2) + 4 \left(\frac{E_0 \cdot 2}{3} \frac{\xi e^2}{2 + n} \right) \cdot \left(\frac{1}{\theta_e} - \frac{1}{\theta_{\max}} \right) + \frac{4K}{2 + n} \left(\frac{H}{2} \right)^{2+n} \cdot (\theta_{\max}^{1+n} - \theta_e^{1+n}) \right] \right]$$

Ein besseres Verständnis der Erfindung ergibt sich anhand der folgenden nur als Beispiels zu verstehenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen. Auf diesen zeigt

Fig. 1 einen Verformungszyklus für ein Blatt,

Fig. 2 eine Zugmaschine zum Abziehen der beiden äußeren Materialblätter eines Sandwich-Bleches, wobei diese in die Durchführung einer Phase des erfindungsgemäßen Verfahrens eintritt, und

Fig. 3 eine gezielte Ziehkurve.

Bei der Untersuchung von Blechen aus mehreren Materialien (Metall/Polymer), die auch mehrlagige oder Sandwich-Bleche genannt werden, deren Substrate, die außerdem noch äußere Blätter genannt werden, steif sind und eine plastische Verformung durchmachen, ist es erforderlich, von der gemessenen Schäl- bzw. Abziehenergie die Energie zu subtrahieren, die für die Biegeverformung der äußeren Blätter aufgewendet wird.

Ausgehend von einem Verlauf elastoplastischen Verhaltens erlaubt eine Berechnung der Verformungsenergie der Blätter eine Herleitung der Abziehenergie, die zum Aufbrechen der Adhäsionsbindungen (Metall/Polymer) oder der Kohäsionsbindungen (Polymer) aufgewendet wird.

Diese Verformungsenergie hängt von der Krümmung der Blätter

und folglich der Arbeit der Adhäsionskräfte ab.

Diese Berechnungen erfordern auch die Kenntnis der Geometrie der Blätter und der rheologischen Eigenschaften der verwendeten Materialien, sowie die Messung der Maximalkrümmung θ_{\max} der Blätter während eines Abziehversuches.

Ausgehend von Versuchen mit verschiedenen Geschwindigkeiten und einem Dissipationsgesetz für die Energie ist es möglich die Adhäsion oder Kohäsion des Übergangs Metall/Polymer zu charakterisieren oder zu vergleichen.

Abzüge bei 180° oder im T, beispielsweise in einer Zugmaschine, werden insbesondere für flexible Materialien verwendet, die Abmessungen und physikalische Eigenschaften besitzen, die ihnen einen Biegung gestatten, die einen Winkel von 180° oder 90° erreichen kann, ohne daß eine Rißbildung in den äußeren Blättern auftritt.

Der Abziehwiderstand ausgedrückt in N/m oder J/m² hat nicht die Dimension einer Spannung, denn es handelt sich dabei um das Verhältnis einer Kraft zu einer Abmessung (Breite des Bleches). Dies rührt von der Tatsache der Unkenntnis des Bereichs Spannung/Deformation in der Zone der Abziehfront her.

Die für die Berechnung zurückbehaltene Kraft ist die Kraft, die notwendig ist, um den Abriß längs des Bleches auszubreiten, wobei diese Kraft unter der Kraft liegt, die für das Einleiten dieses Abrisses erforderlich ist, weshalb sie gemessen wird, wenn sich die mit der Zugmaschine angelegte Kraft stabilisiert hat. Das Ergebnis des oben beschriebenen Meßvorgangs ist die Gewinnung einer groben Abziehkraft, die nicht die Adhäsions- oder Kohäsionskraft beim Abziehen von der Kraft unterscheidet, die notwendig ist, um die Blätter in T-Form zu biegen.

Eines der Ergebnisse des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt also darin, daß ein Vergleich der Adhäsion eines Polymers gegenüber Stahlarten, die für die Herstellung der äußeren Blätter verwendet werden und unterschiedliche mechanische Eigenschaften und Oberflächen haben, möglich wird.

Darüberhinaus ist es von Interesse, einen Adhäsionswert

anhand des Abziehens von Multimaterialien veränderlicher Dicken extrahieren zu können.

Die Abziehkraft steht im Gleichgewicht mit

- den Kräften, die vom adhäsiven oder kohäsiven Aufreißen der Grenzfläche herrühren,
- der Doppelbiegung der beiden äußeren Blätter, die an dem Aufbau des Sandwich-Blechtes beteiligt sind, und
- der Biegung des Polymers.

Die von der Maschine zum Abziehen eines Multimaterialblechs auf einer Länge $L/2$ geleistete Arbeit ist also

$$F \cdot L = W_0 + W' \quad (1)$$

wobei

- $F \cdot L$ die von der Maschine gelieferte Energie,
- W_0 die Energie, die notwendig ist, um die Grenzfläche aufzureißen, und
- W' die für die Verformung der äußeren Blätter und des Polymers des Bleches aufgewendete Energie darstellt.

Ferner ist

$$W_0 (j) = G (j/m^2) \times l \times L/2(m) \quad (2)$$

In dieser Formel stellt

- G den Energierestitutionsgrad oder die zu bestimmende Abziehenergie,
- l die Breite des Blattes, und
- L die Länge der abgezogenen Grenzfläche dar.

Die für die Verformung der Blätter und des Polymers aufgewendete Energie ist ihrerseits durch die Formel

$$W' (J) = W'_1 + 2 W'_2 \quad (3)$$

gegeben, wobei

- W'_1 die Verformungsenergie des Polymers, und
- W'_2 die elastoplastische Verformungsenergie eines Blattes ist.

In diesem Fall kann W'_1 in Anbetracht des Verhältnisses der Dicken und der Module Polymer/Material der Blätter vernachlässigt werden.

Die elastoplastische Verformungsenergie eines Blattes ist gleich

$$W'z \text{ (J)} = L/2 \times W''z \text{ (J/m)} \quad (4)$$

wobei

- $W''z$ die pro Längeneinheit des Blattes mit der Dicke H und der Breite L aufgewendete Energie ist.

Diese Energie $W''z$ kann anhand des Biegemoments M und der Krümmung θ des Blattes gemäß folgender Beziehung berechnet werden:

$$W''z \text{ (J/m)} = \int M \times d\theta \quad (5)$$

Die Integration erfolgt über einen Verformungszyklus, wie er in Fig. 1 gegeben ist, wobei die der Rückkehr auf eine Krümmung null vorangehende negative Krümmung unter Versuchsbedingungen festgestellt wird, die im folgenden im einzelnen beschrieben werden.

Auf dem Zyklus ist $\theta_e = \epsilon_e/(H/2)$ (6) und stellt die elastische Krümmung des verwendeten Materialblattes dar. ϵ_e ist die elastische Verformung des verwendeten Materials und H die Dicke eines Blattes.

Die Maximalkrümmung θ_{\max} des Blattes während des Verformungszyklusses wird beispielsweise durch Vergleich mit Referenzdiagrammen nach Durchlauf durch eine Zugmaschine, wie dies in Fig. 2 gezeigt ist, gemessen.

Gemäß Fig. 2 wird ein Sandwich-Blech 1 in eine Zugmaschine eingeführt und die Enden der äußeren Blätter 2 und 3 dieses Bleches werden in Spannbacken 4 bzw. 5 dieser Maschine eingesetzt. Den Enden der Blätter wird eine bestimmte relative Versetzungsgeschwindigkeit v auferlegt, und sobald diese Geschwindigkeit erreicht ist, ist es dann möglich, die für die Erreichung dieser Versetzungsgeschwindigkeit notwendige Abziehkraft F zu messen, wenn sich die Kraft stabilisiert hat, wie dies weiter oben erläutert worden ist. Die Krümmung θ_{\max} beispielsweise des Bleches 2 wird dann durch Vergleich eines auf Höhe der Biegung 6 dieses Blattes aufgenommenen Diapositivs mit Bezugs-

diagrammen gemessen.

Natürlich sind andere Arten zur Messung dieser Maximalkrümmung ebenfalls anwendbar.

Da jedes Blatt in Biegung arbeitet, wird angenommen, daß ein Bereich von Zug-Druckspannungen beiderseits der Neutralfaser des ein Blatt darstellenden Balkens existiert.

Ferner wird auch angenommen, daß für die betrachteten schwachen Verformungen das Verhalten von Stahl in Zug und Druck symmetrisch ist.

M ist das Gesamtmoment in einem ebenen Abschnitt des als Balken betrachteten Blatts mit Querschnitt $S = H \times L$ berechnet anhand eines Gesetzes für das elastoplastische Verhalten

$$\bar{\sigma} = f(\epsilon).$$

Dieses Moment M ist durch folgende Formel gegeben:

$$M = \int_S \sigma(y) y dS = L \int_{-H/2}^{+H/2} \sigma(y) y dy \quad (7)$$

Man kann dann von der in Fig. 3 dargestellten gezielten Zugkurve ein Verhalten ableiten, was die Kenntnis der Konstanten K und n des Plastizitätsgesetzes für das betrachtete Material erfordert, wobei dieses Plastizitätsgesetz gegeben ist durch:

$$\bar{\sigma} = K \epsilon^n$$

Ausgehend von diesem gegebenen Verhalten erhält man folglich die Ausdrücke von $M = f(\theta)$, dann von $W''z = g(\theta_{\max})$, wobei θ_{\max} wie oben beschrieben gemessen wird.

Durch Einsetzen der Ausdrücke von (2) und (3) in die Gleichung (1) ist es also möglich den Anteil an Energierestitution oder an Abziehenergie zu gewinnen, die gleich:

$$G = 2 (F/l - W''z/l) \quad (8)$$

wobei

- F die von der Maschine ausgeübte Kraft in N/m, und
- $W''z$ die Verformungsenergie in J/m^2 ist.

Ausgehend von vorstehenden Überlegungen wird $W''z$ durch die Formel

$$W''z = 1 \left[-\frac{1}{6} \cdot \frac{E_{0,2} \cdot H^2}{\theta_e} (\theta'^2 - \theta_e^2) + 4 \left(\frac{E_{0,2} \cdot \epsilon_e^2}{3} - \frac{K \cdot \epsilon_e^{2+n}}{2+n} \right) \cdot \left(\frac{1}{\theta_e} - \frac{1}{\theta_{\max}} \right) + \frac{4 \cdot K}{2+n} \left(\frac{H}{2} \right)^{2+n} (\theta_{\max}^{1+n} - \theta_e^{1+n}) \right] \quad (9)$$

bestimmt.

In dieser ist θ' durch die Formel

$$\theta' = \epsilon \frac{M(\theta_{\max}) \theta_e}{E_{0,2} H^2} \quad (10)$$

gegeben.

Ferner ist $M(\theta_{\max})$ durch die folgende Formel (11) gegeben:

$$M(\theta_{\max}) = 2l \left[\left(\frac{E_{0,2} \cdot \epsilon_e^2}{3} - \frac{K \cdot \epsilon_e^{2+n}}{2+n} \right) \cdot \frac{1}{\theta_{\max}} + \frac{K}{2+n} \left(\frac{H}{2} \right)^{2+n} \cdot \theta_{\max}^n \right]$$

In den einzelnen Formel stellen l die Breite des Blechs, $E_{0,2}$ die herkömmliche Elastizitätsgrenze bei 0,2% Streckung des betrachteten Materials, H die Dicke eines Blattes des Bleches, ϵ_e die elastische Krümmung und K und n die Konstanten des Plastizitätsgesetzes, die für das verwendete Materialblatt charakteristisch sind, dar.

Nach Messung der Maximalkrümmung θ_{\max} berechnet man so das Moment $M(\theta_{\max})$ nach Formel (11), dann den Zwischenwert θ' nach Formel (10), in der θ_e nach Formel (6) berechnet wird. Nach diesen verschiedenen Berechnungen wird die Abziehenergie G anhand der Formel (8) berechnet, in welche man die Formel (9) einsetzt, was unter Berücksichtigung, daß die Biege- und Entbie-

geenergien des Blattes gleich sind, folgendes ergibt:

$$G = 2 \left[\frac{F}{1} - \left(-\frac{1}{6} \frac{E_0 \cdot 2}{\sigma_e} H^2 \right) \cdot (\sigma_e^2 - \sigma_e^2) + 4 \left(\frac{E_0 \cdot 2}{3} \frac{\xi_e^2}{2 + n} \right) \cdot \left(\frac{1}{\sigma_e} - \frac{1}{\sigma_{\max}} \right) + \frac{4K}{2+n} \left(\frac{H}{2} \right)^{2+n} \cdot (\sigma_{\max}^{1+n} - \sigma_e^{1+n}) \right]$$

Die Kraft, die erforderlich ist, um zwei in Berührung stehende Festkörper zu trennen oder um einen Festkörper zu zerreißen, hängt nicht nur von den Adhäsionskräften, die die beiden Festkörper verbinden, oder den Kräften, die die Kohäsion sicherstellen, ab, sondern auch von einer großen Anzahl von Parametern, wie der Geometrie derselben, der Steifigkeit der Meßapparatur, der Trenngeschwindigkeit, den Restspannungen und den rheologischen Eigenschaften der Materialien.

Das Aufreißen erfolgt durch Ausbreitung eines adhäsiven oder kohäsiven Risses. Die Energie $w da$ oder $2\gamma da$, die zum Aufbrechen der Bindungen auf einer Fläche da erforderlich ist, kommt von der mechanischen Energie $G da$ her die im Zuge der Ausbreitung freigesetzt wird. Der Anteil an Energierestitution G oder Abziehenergie hängt von der untersuchten Geometrie, den angelegten Spannungen und den elastischen Eigenschaften ab.

Dieser Riß ist im Gleichgewicht, wenn $G = w$ oder $G = 2\gamma$ (Griffith-Kriterium).

$G = w$ stellt eine verallgemeinerte Kraft dar, die den Riß fortschreiten läßt. Unter der Wirkung einer solchen konstanten Kraft würde ein Riß in einem elastischen Festkörper die Geschwindigkeit von Rayleigh-Wellen annehmen. Die viskoelastischen Festkörper verbrauchen die Energie, wenn sie einem Spannungszyklus unterworfen werden.

Man kann also erwarten, daß die viskoelastischen Verluste im Zuge der Ausbreitung des Risses proportional zu w und abhän-

gig von der Geschwindigkeit v sind. Unter Verwendung des Translationsfaktors aT von William, Landel und Ferry (WLF) der Zeit-Temperatur-Äquivalenz nehmen Maugis und Barquins in J. Phys. D Appli. Phys. 1978 - 11, 1989 folgenden Ausdruck der verallgemeinerten Kraft an:

$$G - w = w f(aT.v)$$

Im Falle von Festkörpern, die auch Plastizitätseigenschaften zeigen, ist auch ein statisches Reiben zur Auslösung des Risses zu überwinden.

Die Abziehungskraft hängt notwendigerweise von der Geschwindigkeit ab, mit der der Versuch durchgeführt wird. Für eine industrielle Vergleichskontrolle von Sandwich-Bleichen ist es also erforderlich, eine Geschwindigkeit v und eine Referenztemperatur aufzuerlegen.

Zur Minimierung der Streuung der Abziehresultate ist es möglich, ausgehend von Versuchen mit verschiedenen Geschwindigkeiten und von der Berechnung von G , nach Wahl eines Typs von Funktion f und Interpolation auf Geschwindigkeit null einen Wert w der Adhäsion oder der Kohäsion der Grenzfläche Metall/Polymer zu erhalten.

Um die Tatsache nachzuweisen, daß die beim Biegen der Bleche aufgewendete Energie einen nicht vernachlässigbaren Teil der gesamten für das Biegen aufgewendeten Energie darstellt, wurden verschiedene Versuche von der Anmelderin durchgeführt.

Die Verformungsenergie ist nicht explizit eine Funktion der Geschwindigkeit.

Man verifiziert aber, daß die Biegung der Blätter eine steigende Funktion der für das Aufbrechen der Adhäsionskräfte oder Kohäsionskräfte in der Bruchzone notwendigen Energie ist. Diese Energie ist selbst eine steigende Funktion der Geschwindigkeit.

Der Verlauf der Kurven des Logarithmus von G als Funktion des Logarithmus der Abziegeschwindigkeit, $\log(G) = f(\log(v))$ zeigt eine lineare Entwicklung, und ausgehend von Versuchen mit verschiedenen Geschwindigkeiten und einem Energieverbrauchsge-

setz ist es möglich die Adhäsion oder Kohäsion der Grenzfläche Metall/Polymer zu charakterisieren und zu vergleichen.

Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt also einerseits eine Vereinfachung der Charakterisierung und des Vergleichs verschiedener Sandwich-Bleche und andererseits die Bestimmung der Eigenschaften derselben mit besserer Genauigkeit derselben, insoweit als die äußeren Blätter des Blechs keine permanente Verformung behalten, was also die Integration von Ungenauigkeiten bei dieser Bestimmung und somit einen Fehler bei der Charakterisierung der Grenzfläche zwischen den äußeren Blättern und dem Polymer des Blechs vermeidet.

90400413.2

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Abziehenergie (G) beim Abziehen im T eines Sandwich-Blechtes, welches zwei äußere Materialblätter (2, 3) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß es folgende Verfahrensschritte umfaßt:

a) das Blech (1) wird in eine Zugmaschine zum Abziehen der beiden äußeren Materialblätter (2, 3) voneinander eingeführt,

b) den beiden Enden der Blätter wird eine bestimmte Relativversetzungsgeschwindigkeit (v) aufgezwungen,

c) die Abziehkraft (F), die für eine Erzielung dieser Versetzungsgeschwindigkeit erforderlich ist, wird gemessen, wenn sich diese Kraft stabilisiert hat,

d) die Maximalkrümmung (θ_{\max}) der Biegung (6) wird an der Verformung eines der Außenblätter gemessen,

e) ein Biegemoment $M(\theta_{\max})$ wird anhand folgender Formel berechnet:

$$M(\theta_{\max}) = 2 \cdot l \left[\left(\frac{E_{0,2} \cdot \epsilon_e^2}{3} - \frac{K(\epsilon_e)^{2+n}}{2+n} \right) \cdot \frac{1}{\theta_{\max}^2} + \frac{K}{2+n} \left(\frac{H}{2} \right)^{2+n} \cdot \theta_{\max}^n \right]$$

wobei

l die Breite des Blattes,

$E_{0,2}$ die herkömmliche Elastizitätsgrenze bei 0,2% Streckung des betrachteten Materials,

ϵ_e die elastische Verformung des Materials (0,2%),

K und n die Konstanten des für das verwendete Materialblatt charakteristischen Plastizitätsverlaufs,
 θ_{\max} die gemessene Maximalkrümmung, und
H die Dicke eines verwendeten Materialblatts ist,
f) ein Zwischenkrümmungswert θ' wird anhand der Formel

$$\theta' = \frac{6 M(\theta_{\max}) \theta_e}{E 0,2 H^2}$$

berechnet, wobei θ_e die elastische Krümmung des verwendeten Materialblattes darstellt und durch folgende Formel gegeben ist:

$$\theta_e = \frac{\epsilon_e}{H/2}$$

und

g) die Abziehenergie G wird unter Berücksichtigung, daß die Biege- und Entbiegeenergien des Blattes gleich sind, nach folgender Formel berechnet:

$$G = 2 \left[\frac{F}{1} - \left(-\frac{1}{6} \frac{E 0,2 H^2}{\theta_e} (\theta'^2 - \theta_e^2) + \left(\frac{E 0,2 \epsilon_e^2}{3} - \frac{K \epsilon_e^{2+n}}{2+n} \right) \left(\frac{1}{\theta_e} - \frac{1}{\theta_{\max}} \right) + \frac{4K}{2+n} \left(\frac{H}{2} \right)^{2+n} (\theta_{\max}^{1+n} - \theta_e^{1+n}) \right) \right]$$

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man die vorstehenden Verfahrensschritte wiederholt, um daraus nach Berechnung der Logarithmen eine Kennkurve: $\log(G) = f(\log(v))$ zu entnehmen, so daß damit die Haftung verschiedener Bestandteile des Bleches charakterisiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Maximalkrümmung (θ_{\max}) des Blattes gemessen wird, indem man ein Bild der Krümmung desselben mit Referenzdiagrammen vergleicht.

1/2

